

LOS MINERALES GEMA: UNA PROPUESTA PRÁCTICA

The gem minerals: a practical proposition

Joaquim M. Nogués, Maite García, Salvador Martínez y Glòria Àvila (*)

RESUMEN

El objetivo básico de este taller es introducir al alumno en el estudio de las propiedades físicas de los minerales-gema y más concretamente las propiedades ópticas y mecánicas. Esta es una de las áreas de estudio interesantes en el campo de la mineralogía y que permite utilizar estas propiedades para identificar los minerales. Las actividades que se proponen tienen como objetivo básico el estudio de los minerales-gema, es decir aquellos minerales que por sus especiales características y una vez tallados por el hombre, se utilizan como piedras preciosas o gemas. Todas las técnicas de estudio que se proponen tienen como denominador común que no son destructivas, es decir sin realizar ninguna modificación sobre la muestra, aspecto muy importante tratándose de gemas. El taller se estructura en seis grupos de trabajo con un número de alumnos reducido por grupo (2-3), de este modo podemos combinar de la mejor manera posible los equipamientos. Los objetivos del taller son: conocer una de las posibles aplicaciones de los minerales, las técnicas de estudio para lograr su identificación y comparar los aspectos conceptuales con las aplicaciones prácticas para que puedan relacionar la teoría con la práctica

ABSTRACT

The main objective of this practical session is to introduce the student in the study of physical properties of minerals and specifically optical and mechanical properties. This is one of the most interesting fields in Mineralogy and we can use these properties to obtain the mineral identification. Activities that we propose have the study of gem-minerals as a basic objective that is the minerals that according to special characteristics and after cutting by man we use as a precious stones or gems. All techniques that we use are not destructives that is without any modification in the specimen, a very important question when we use minerals as gemstones. The practical session are distributed in six working groups with a reduced number of students (2-3), using this system we can combine the necessary equipment in the best possible way. Main objectives of the practical session are: showing one of the practical uses of minerals and the use of special techniques for to obtain the identification of gem-minerals. Also is very important to compare the theoretical concepts with the practical applications.

Palabras clave: gemología, minerales-gema, propiedades ópticas de los minerales, inclusiones, forma cristalina.

Keywords: gemmology, gem-mineral, optical properties of minerals, inclusions, crystal morphology.

INTRODUCCIÓN

Todos sabemos que a los estudiantes de bachillerato les gustan los minerales e incluso algunos inician una colección. Lo que ya no es tan frecuente es que los alumnos sepan para qué se utilizan los minerales. En este taller se sugieren una serie de actividades prácticas para iniciar al alumno en el estudio de las propiedades físicas de los minerales, en definitiva cristales, teniendo en cuenta una de las posibles aplicaciones de los mismos que es su uso como piedras preciosas o gemas. También podremos justificar el porqué del uso de determinados minerales como gemas a partir de sus propiedades físicas, especialmente las propiedades mecánicas y las ópticas. Estas últimas son las que además nos servirán para realizar la identificación de los minerales-gema, ya que debemos utilizar técnicas de

análisis no destructivas, aspecto muy importante cuando se trata de gemas.

Para desarrollar este taller utilizamos equipos sencillos, la mayoría de los cuales se pueden encontrar con facilidad en los centros de enseñanza, y otros se pueden construir sin necesidad de un gran dispendio económico. Al utilizar estos aparatos introducimos al alumno en el manejo de equipos de investigación sencillos, pero que al mismo tiempo permiten establecer un paralelismo con otros equipos más complejos cuya finalidad es la misma. De este modo el estudiante aprende a utilizar un equipo de investigación, conocer sus partes, sus posibilidades y limitaciones y su correcta puesta a punto para poder obtener datos fiables. Las posibilidades que ofrece una práctica de este tipo son muchas y permite además adaptarla a las distintas necesidades

(*) Dpto. Cristalografía y Mineralogía. Facultad de Geología. Universidad de Barcelona. C/ Martí i Franquès s/n. 08028 Barcelona, España. E-mail: joaquimnogues@ub.edu; maitegarciavalles@ub.edu; salvadormartinez@ub.edu; gloriaavila@ub.edu.

según las dificultades de los niveles educativos En definitiva, una práctica sencilla que tiene en cuenta las disponibilidades de los centros y que introduce al alumno en el estudio del estado sólido de un modo agradable.

DESARROLLO DEL TALLER

Para la realización del taller se propone la creación de seis grupos de trabajo, cuyo objetivo será el estudio y observación de las actividades que se proponen. Cada grupo debe trabajar todos y cada uno de los seis aspectos que se contemplan en la práctica y dedicará a los mismos un tiempo determinado que será el mismo para todos los grupos. Al final por rotación todos los participantes habrán realizado la totalidad de los trabajos prácticos que se proponen. Lo ideal son dos o tres alumnos como máximo por actividad, lo cual implica un total de 18 alumnos, de acuerdo con las actividades propuestas. Teniendo en cuenta las disponibilidades de los centros el taller se puede adaptar con facilidad ampliando o reduciendo las tareas. Los aspectos a desarrollar en el taller son los siguientes:

1. Estudio de las inclusiones de las gemas, utilizando la lupa binocular.
2. Observación de los espectros de absorción más característicos de algunas gemas.
3. La medida del peso específico, utilizando una balanza adaptada y aplicando el principio de Arquímedes.
4. Observación de los fenómenos de luminiscencia utilizando la lámpara ultravioleta.
5. Las formas cristalinas y su importancia en relación a los fenómenos ópticos, la talla de las gemas y la identificación de los materiales en bruto.
6. El polariscopio: observación de fenómenos ópticos como anisotropía anómala, birrefringencia y figuras ópticas de interferencia.

A continuación se explica con detalle cada uno de estos seis apartados indicando claramente: a) los aspectos conceptuales implicados, b) el material objeto de estudio y c) la descripción del equipo para la realización de la observación o la medida de alguna propiedad física.

Estudio de las inclusiones

Una inclusión es una sustancia sólida, líquida, gaseosa o mixta que queda englobada en el interior de un cristal en el momento de su formación. Un mineral es un cristal que se forma por un proceso natural; generalmente a partir de un fundido o de una sustancia en solución. En algunos casos se puede originar directamente a partir de un vapor. Una inclusión desde el punto de vista teórico es una imperfección del cristal. Un cristal perfecto no debería tener inclusiones, sin embargo en la naturaleza esto es imposible ya que el número de factores que influye en el crecimiento de los minerales es muy grande y además van cambiando con el tiempo. Los cristales se pueden formar en un corto espacio de

tiempo, o en distintas etapas y además las condiciones ambientales pueden cambiar mientras dura el proceso. El mineral debe considerarse desde un punto de vista geológico como un ente dinámico y no estático, si bien es cierto que nuestra escala de tiempo nos impide verlo con claridad.

Desde el punto de vista de las fases presentes (gas/ líquido/ sólido) las inclusiones se clasifican en: monofásicas, bifásicas y trifásicas. Una de las inclusiones más frecuentes son las bifásicas (líquido-gas). Desde el punto de vista del origen de las inclusiones, estas se clasifican en: protogenéticas que ya existían antes de formarse el cristal, singenéticas que se forman al mismo tiempo que el cristal y epigenéticas que se desarrollan una vez el cristal ya está formado. En la Figura 1 vemos un ejemplo de inclusión bifásica. El estudio de las inclusiones en las gemas es muy importante porque en muchos casos nos permite diferenciar entre los materiales naturales, los materiales sintéticos, los de imitación o los materiales naturales que han sufrido un tratamiento para mejorar el color. Por ejemplo podemos hablar de una esmeralda natural, una esmeralda natural tratada, una esmeralda sintética, una turmalina de color verde, un vidrio verde o un doblete (dos piezas de cuarzo pegadas con una resina de color verde).

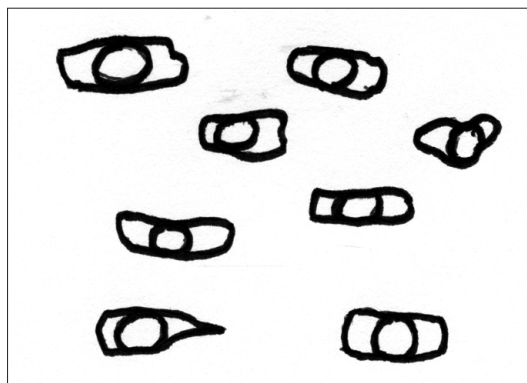


Fig. 1. Inclusiones bifásicas en un cristal de cuarzo. Fotografía realizada con un estereomicroscopio a 40 aumentos.

El material utilizado en esta práctica son muestras de granate almandino, rubí, cuarzo, turmalina, berilo, cordierita (iolita), vidrio y ámbar. En cada uno de estos ejemplares podemos ver la variedad de inclusiones anteriormente citadas. Utilizamos distintos minerales para poder observar también distintas morfologías en las inclusiones. Las inclusiones pueden tener formas diversas, de aguja, de lámina, de cristal alargado, de cristal globular, cavidades rellenas de líquido, etc. Para observar correctamente las inclusiones es suficiente un estereomicroscopio, que vulgarmente se conoce con el nombre de lupa binocular. Su rango de aumento oscila generalmente entre 4x y 40x aumentos. Estos son suficientes para observar las inclusiones que hemos comentado. Un aspecto importante para la visión correcta de

las inclusiones es la iluminación, para ello se recomienda el uso del llamado campo oscuro que consiste en una iluminación indirecta de las inclusiones teniendo como fondo una placa oscura. Esto se puede conseguir fácilmente utilizando una linterna de petaca y tapando parcialmente su parte central con un disco opaco negro. Para sujetar la muestra objeto de estudio, debemos utilizar unas pinzas que permitan en todo momento variar la posición de la misma para observar todas las zonas del ejemplar.

En la Figura 2 podemos ver la imagen de un estereomicroscopio preparado para observar inclusiones. El mantenimiento de este equipo no es complicado, únicamente requiere limpieza y no necesita ningún tipo de puesta a punto. En este caso no es posible realizar la construcción de un equipo sencillo, no obstante en la mayoría de los centros disponen de lupas binoculares. Lo único que hay que hacer es adaptar la iluminación.



Fig. 2. Estereomicroscopio adaptado para observar inclusiones.

Los espectros de absorción

Para comprender los espectros de absorción debemos empezar por conocer qué es el espectro visible. La parte de energía asociada al espectro electromagnético que es captada por nuestro órgano sensible, es decir el ojo humano, la denominamos "luz visible" y comprende una pequeña parte de la totalidad del mencionado espectro. La luz cuando se desplaza lo hace como una onda y la característica que la define es su longitud (distancia consecutiva entre dos puntos con el mismo estado de vibración). La unidad que utilizamos para designar la longitud de onda es el nanómetro ($1\text{nm} = 10^{-9}\text{m}$) y el espectro visible queda comprendido entre 400

nm (azul) y 750 nm (rojo). En la Figura 3 vemos un esquema del espectro electromagnético. El espectro visible se llama también espectro de Newton, ya que fue este físico inglés quien demostró que la luz blanca está compuesta por distintas longitudes de onda. La demostración experimental la hizo con un prisma de vidrio como elemento dispersor y es justamente este dispositivo el que constituye el fundamento físico del espectroscopio manual. Si echamos una sustancia sólida, como por ejemplo sal común, a la llama del mechero Bunsen vemos como la llama se colorea de amarillo. El responsable de este color es el sodio y si observamos la llama a través del espectroscopio veremos unas líneas brillantes y muy bien definidas sobre el fondo del espectro visible. Este es el espectro de emisión que suelen presentar los átomos cuando están excitados, en este caso se trata del sodio. El mismo fenómeno lo podemos observar en cualquier luz de vapor de sodio de las que abundan en muchas ciudades.

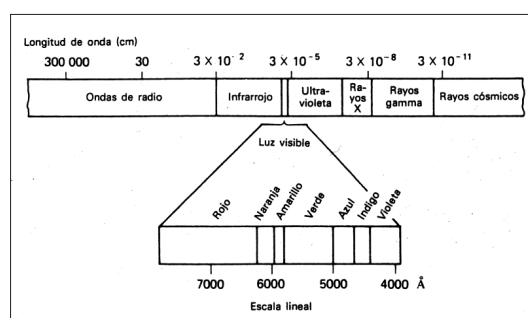


Fig. 3. Esquema del espectro visible.

Si lo que observamos con el espectroscopio es la luz transmitida a través de un sólido, lo que vemos es el llamado espectro de absorción. Está formado por un conjunto de líneas o bandas negras verticales superpuestas sobre el fondo del espectro visible. Dichas líneas y bandas negras son las longitudes de onda que han sido absorbidas por la sustancia en cuestión. Otro ejemplo clásico de espectro de absorción es el que podemos ver al mirar la luz solar con el espectroscopio manual, en este caso vemos un conjunto de líneas negras muy finas y abundantes, que constituyen el llamado espectro de Fraunhofer en honor del físico alemán que lo estudió por primera vez. Cuando los elementos químicos sustituyen en parte a los originales del mineral, provocan la aparición de un determinado color que no existiría si la sustancia fuese pura. En este caso decimos que el mineral es alocromático y puede presentar distintas coloraciones en función de las impurezas que pueda contener. Como ejemplo podemos citar el corindón (variedades rubí y zafiro) y el berilo (variedades esmeralda, aguamarina, morganita, heliodoro etc.). Los elementos químicos que aparecen con mayor frecuencia son los denominados elementos de transición, como el vanadio, cromo, manganeso, hierro, cobalto, níquel y cobre. De todos ellos el hierro es el que aparece con mayor frecuencia como responsable del color en los minerales alocromáticos, y ello no debe extrañarnos te-

niendo en cuenta la abundancia de este elemento en la corteza terrestre. Todos estos elementos químicos originan espectros de absorción característicos. El espectroscopio de visión directa o espectroscopio manual es el equipo que utilizaremos para realizar las observaciones de los espectros de absorción. Se compone de tres partes: a) rendija de entrada, b) elemento dispersor (prisma o red), c) ocular. Todos estos elementos están montados en un tubo metálico de dimensiones reducidas (10 x 1,5 cm) y que es portátil. La única precaución que debemos tener es la limpieza como en cualquier equipo óptico, y evitar las caídas para prevenir roturas en los elementos ópticos. En la Figura 4 vemos un esquema del espectroscopio.

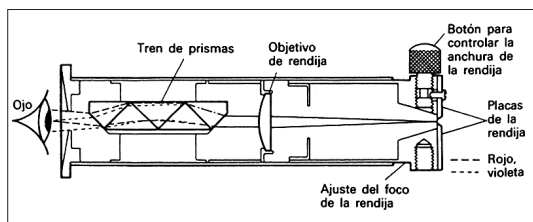


Fig. 4. Espectroscopio manual para observar los espectros de absorción en las gemas.

Antes de utilizar el equipo debemos realizar la puesta a punto del mismo, para ello cerramos la rendija al máximo y miramos hacia un tubo fluorescente. Abriendo ligeramente la rendija podemos observar el espectro de emisión del gas que rellena el tubo, y desplazando ligeramente el ocular nos permite definir nítidamente la imagen de dicho espectro. En este momento el equipo está a punto para trabajar. La apertura de la rendija debe ser igual para todos los usuarios, lo único que varía es la posición del ocular que es el elemento que nos permite definir la imagen de acuerdo con los defectos visuales de cada observador. Para que la observación sea correcta, los tres elementos que intervienen, es decir la fuente de luz, la muestra objeto de estudio y el observador provisto del espectroscopio, deben estar alineados. La fuente de luz ha de ser puntual, concentrada sobre el objeto, lo cual se consigue con una fibra óptica o una lámpara de bolsillo como las que utilizan los médicos para observar la garganta. Los métodos para realizar la observación son dos, por reflexión y por transmisión. El más común es el primero, y en este caso se dispone la muestra sobre un trapo negro de fieltro o un papel negro mate para evitar luz parásita. La luz puntual se coloca tocando prácticamente a la muestra. En el lado opuesto se sitúa el observador con el espectroscopio previamente ajustado y de modo que pueda captar el haz de luz transmitido por la muestra. El espectroscopio se sitúa también casi junto a la muestra. Si se usan materiales en bruto o láminas de caras paralelas puede ser conveniente utilizar el método de observación por transmisión. En este caso se sitúa la muestra sobre un diafragma fijo (cartulina negra con un agujero) y se ilumina por la parte inferior con una lámpara de bolsillo de petaca, y se observa

con el espectroscopio por la parte superior. Esta técnica se utiliza con frecuencia en el ámbito de la gemología, ya que permite identificar las muestras por el espectro característico y no es necesario manipular la muestra.

Los materiales que utilizamos en la práctica son: granate almandino, apatito amarillo, olivino, rubí, zafiro, espinela roja, espinela sintética azul, turmalina roja, zircón amarillo y vidrio de cobalto. Todos ellos poseen espectros característicos que vienen indicados en la Figura 5, los cuales a veces presentan líneas muy finas y otras veces bandas más anchas. Los elementos cromóforos responsables de estos espectros son los siguientes:

- a) granate almandino: el hierro
- b) apatito amarillo: el didimio (neodimio+ praseodimio)
- c) olivino: el hierro
- d) rubí: el cromo
- e) zafiro: el hierro y el titanio
- f) espinela roja: el cromo
- g) turmalina roja: el manganeso
- h) zircón amarillo: el uranio
- i) vidrio azul oscuro: el cobalto

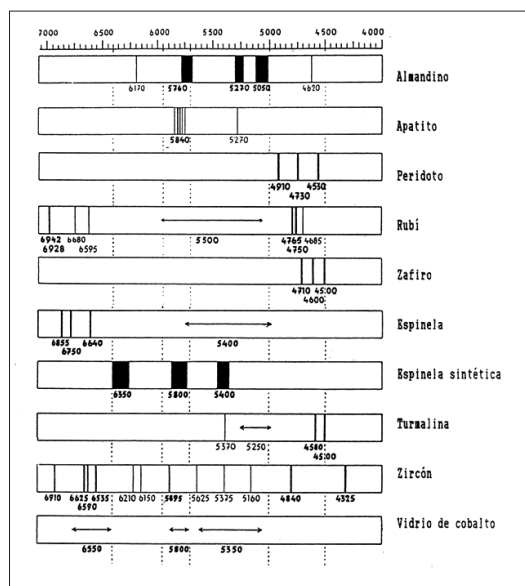


Fig. 5. Espectros característicos de las gemas citadas en el texto.

El equipo utilizado es muy sencillo y de fácil manejo, es posible que en muchos institutos lo tengan en el seminario de ciencias. También se puede construir uno a partir de elementos sencillos, para ello se recomienda visitar la página web (<http://centros5.pntic.mec.es>) donde se explica como hacerlo. Las conclusiones que podemos sacar de este apartado son: introducir al alumno en el uso de las técnicas espectroscópicas (en este caso espectro visible) utilizando un equipo sencillo pero que contiene los mismos ele-

mentos básicos que un espectrofotómetro, es decir fuente de luz, compartimiento de muestra, elemento dispersor (el espectroscopio) y la célula sensible (el ojo humano). También es muy importante la correcta disposición de todos los elementos que intervienen, y ello nos sirve para introducir el concepto de puesta a punto de un equipo de medición u observación.

El peso específico

Conceptualmente el peso específico es la relación entre el peso de una determinada sustancia y el peso de su volumen equivalente en agua destilada a 4°C y a la presión atmosférica al nivel del mar. Para la determinación del mismo aplicamos el principio de Arquímedes. En gemología conocer el peso específico puede ser de gran utilidad para la identificación de una gema, no obstante la muestra debe estar sin montar. En el taller que realizamos la muestra puede ser un mineral bien cristalizado, no hace falta que sea una gema tallada. El equipo necesario para realizar la práctica es: a) una balanza, b) un vaso de precipitados, c) alambre de cobre, d) hilo de cobre, e) un puente de madera f) una probeta graduada. Las muestras para realizar la práctica son: cuarzo, topacio, turmalina y zirconita. Los elementos para realizar la práctica se pueden ver en la Figura 6.

Para efectuar las mediciones primero procedemos a pesar cada uno de los ejemplares con la balanza. El peso nos vendrá expresado en gramos, no obs-

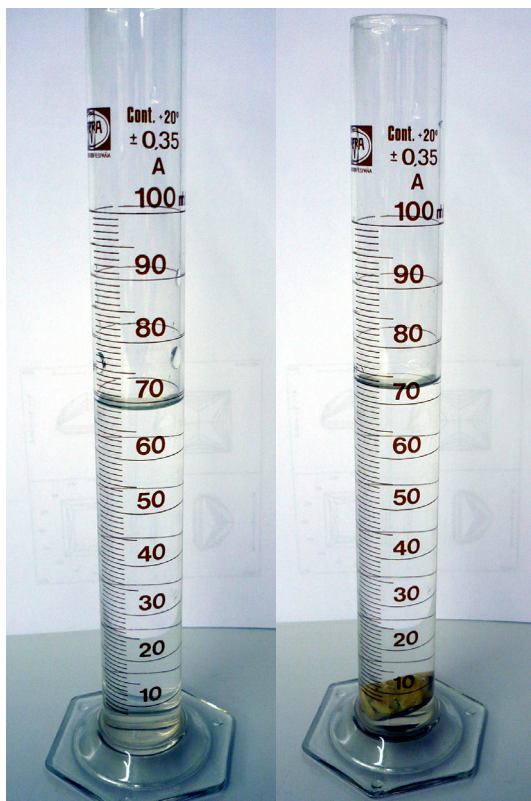


Fig. 6. Probetas graduadas para medir el desplazamiento de volumen del agua aplicando el principio de Arquímedes.

tante en gemología se utiliza como unidad de medida el quilate que es una unidad más pequeña que el gramo. Un quilate métrico es igual a 1/5 de gramo o lo que es lo mismo 0,200 mg, por tanto 1g = 5 quilates. Esto es así porque las gemas son pequeñas y es mucho más cómodo trabajar con una unidad de medida más acorde con su tamaño. En nuestro caso depende de la muestra que utilicemos, si usamos cristales de un tamaño medio (algunos gramos), es suficiente utilizar como unidad de medida el gramo. Cuando ya se han pesado los ejemplares en el aire, los sumergimos en la probeta graduada llena de agua y enrasada, y observamos el volumen de agua desplazada en relación a la situación previa, es decir antes de sumergir la muestra. Cada mililitro de agua pesa 1g, por tanto observando el volumen desplazado se puede calcular el peso del mismo y esto equivale al empuje o pérdida de peso que nos indica el principio de Arquímedes. Dividiendo el peso de la muestra en el aire por el peso del volumen de agua desplazada, tendremos directamente el valor del peso específico:

$$P.E. = \text{Peso de la muestra} / \text{Peso del volumen de agua desplazada}$$

Cuando la muestra es más pequeña, el caso más frecuente en las gemas, el desplazamiento del volumen de agua es muy pequeño y se puede cometer un error grande en la medida. Por esta razón en este caso debe pesarse la muestra primero en el aire (P_1) y luego en inmersión (P_2) y entonces el cálculo del peso específico es:

$$P.E. = P_1 / P_1 - P_2 = \text{Peso de la muestra} / \text{Pérdida de peso}$$

Para realizar esta segunda parte es cuando hacen falta los otros elementos que se indicaban al principio esto es: alambre de cobre / hilo de cobre / vaso de precipitados / puente de madera. Estos elementos sirven para realizar la medida del peso en inmersión. En la Figura 7 vemos el conjunto de estos elementos para poder realizar la medida en inmersión. Esta experiencia permite al estudiante rea-



Fig. 7. Balanza adaptada para medir el peso de las gemas en inmersión.

lizar una medida cuantitativa y al mismo tiempo evaluar las causas que pueden influir en los errores de las medidas. La palabra quilate procede de la deformación del nombre científico del algarrobo *Ceratonia siliqua*, ya que las semillas de la algarroba servían como pesas para calibrar el peso de las gemas. El peso medio aproximado de una semilla de algarroba es de 0,200 mg.

La luminiscencia

La podemos definir como la emisión de luz visible originada por la interacción de una radiación de longitud de onda corta y por tanto con una frecuencia mucho más grande, sobre una estructura cristalina. En este caso se trata de los minerales-gema que son el objeto de nuestro estudio. Los fenómenos de luminiscencia se pueden originar por la acción de los rayos ultravioleta o también por la acción de los rayos X. En nuestro caso y por motivos obvios utilizaremos la luz ultravioleta, ya que los equipos de rayos X requieren instalaciones y permisos especiales, y además son costosos. Los colores que puede presentar la luminiscencia son muy variables y dependen de la sustancia, de los cromóforos y de los defectos cristalinos que pueda presentar el mineral-gema. No obstante para un mineral determinado, por ejemplo el rubí, la luminiscencia es siempre de color rojo y es debida a la presencia del cromo. También puede ser más o menos intensa en función de la presencia del hierro que actúa de inhibidor del fenómeno.

Las causas que provocan la aparición de la luminiscencia están relacionadas con la presencia de determinados elementos traza, con cationes en posición intersticial y con lugares vacantes de la red cristalina. En definitiva se trata de lo que en cristalografía llamamos defectos puntuales de la red cristalina. La luminiscencia se divide en:

- a) Fluorescencia: emisión visible mientras dura la acción de la radiación de excitación.
- b) Fosforescencia: emisión visible una vez ha cesado la radiación de excitación. La fosforescencia suele durar muy poco tiempo, en general pocos segundos o fracción de segundo.

Para observar el fenómeno no hace falta una gran infraestructura, basta con una lámpara ultravioleta que tenga las dos longitudes de onda, la larga (365 nm) y la corta (254 nm). Si no es posible, será suficiente con la longitud de onda larga. También será necesaria una pequeña cabina pintada de color negro mate o forrada interiormente con papel negro mate, para evitar la luz parásita que impediría contemplar el fenómeno. Dicha cabina se puede construir fácilmente con una caja de zapatos, haciendo dos aberturas en la parte superior, una para que entre la luz de la lámpara y la otra para poder observar. En la ranura de observación se puede construir con cartón un visor para adaptar los ojos, que mejora muchísimo la observación. La lámpara ultravioleta de onda larga se puede adquirir fácilmente en un comercio de material eléctrico. Se llama

también tubo de luz negra. Los materiales que vamos a observar son: rubí sintético o natural, espinela sintética (azul o verde), fluorita, topacio y calcita. En este caso la práctica nos permite introducir conceptualmente al alumno en las causas que originan la luminiscencia, es decir los defectos del cristal y en definitiva mostrar que el cristal no es perfecto y además es un ente dinámico y que evoluciona con el tiempo. La Figura 8 nos muestra la cabina de observación y la lámpara ultravioleta.



Fig. 8. Lámpara ultravioleta y cabina de observación.

Las formas cristalinas

Una forma cristalina es la expresión externa de una estructura interna. Si la materia cristalina dispone de espacio, tiempo y reposo, lo más habitual es que se obtenga una forma geométrica que es lo que llamamos normalmente el cristal. A veces los cristales no se pueden observar a simple vista porque son demasiado pequeños, pero es posible poner de manifiesto su característica cristalina a través por ejemplo de la difracción de rayos X. Esto es lo que sucede a menudo en mineralogía, ya que el tamaño de grano es pequeño y la forma cristalina no se puede apreciar. En este caso el estudio de la forma cristalina pasa a tener un aspecto secundario.

Sin embargo en el campo de la gemología no es así, ya que para obtener una gema tallada necesitamos un cristal con un cierto tamaño y en estas condiciones ya es posible apreciar muchas de las características morfológicas de los cristales, y además muchas de ellas nos pueden ser útiles para la identificación. La forma geométrica de los cristales con sus caras, nos sirve además para demostrar una de las propiedades esenciales del cristal, es decir su anisotropía de crecimiento, ya que si la velocidad de crecimiento de las caras del cristal fuese uniforme, los cristales deberían ser esféricos y sin embargo no es así. Un segundo aspecto a destacar cuando se trata de las formas cristalinas en el campo de la gemología, es su relación con la talla. La talla es el conjunto de procesos que lleva a cabo el hombre sobre un cristal natural en bruto, para transformarlo en una gema tallada. Es tam-

bién una forma geométrica pero artificial que sirve para poner de manifiesto las propiedades ópticas del mineral-gema (color, brillo, etc). Los dos estilos de talla clásicos más conocidos, la brillante y la esmeralda derivan de la forma de los cristales en bruto que presentan con más frecuencia el diamante y el berilo. Así la talla brillante del diamante, deriva de la forma octaédrica que presenta este mineral en un 92% de los casos. De esta forma el tallador consigue mantener el máximo peso posible una vez tallado, en relación al peso del cristal en bruto. De un octaedro de diamante cortado por la mitad se pueden obtener dos piezas talladas en estilo brillante.

También en el caso de la talla esmeralda ocurre lo mismo. Una de las formas cristalinas más frecuentes del berilo es el prisma hexagonal, que partido por la mitad a lo largo de su eje senario de simetría, nos suministra dos futuras tallas de estilo esmeralda. En la Figura 9 podemos ver un esquema de las tallas brillante y esmeralda. Para poder llevar a cabo con éxito la tarea de facetar un mineral-gema, el tallador debe tener conocimientos de cristalografía y mineralogía. Debe saber orientar los cristales para poderlos cortar adecuadamente y debe conocer también la existencia de exfoliación en los materiales, por ejemplo el topacio. También en relación a algunos de los efectos ópticos, por ejemplo el dichroísmo, ya que debe tener presente la mejor orientación para evitar la presencia de este fenómeno. En general en este caso el conocimiento de las formas cristalinas ayuda a orientar correctamente los cristales durante el proceso de la talla. El objetivo de este apartado del taller es conocer algunos ejemplos de cristales en bruto y comentar aspectos en relación a la talla y propiedades ópticas. Los materiales que se trabajan son:

- Sistema cúbico: espinela / granate / fluorita.
- Sistema tetragonal: zircón / idocrasa
- Sistema trigonal: cuarzo / turmalina / corindón
- Sistema hexagonal: berilo / apatito
- Sistema rómbico: crisoberilo / topacio
- Sistema monoclinico: ortosa / diópsido.

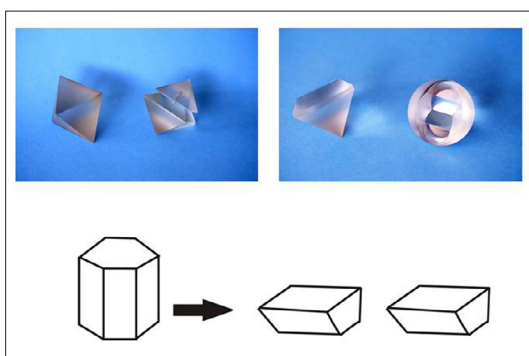


Fig. 9. Esquema de la talla brillante a partir del cristal octaédrico en bruto (izquierda: octaedro; derecha: talla brillante). Abajo: prisma hexagonal y dos futuras tallas estilo esmeralda.

Estos materiales son fáciles de encontrar en cualquier tienda de minerales y no son muy caros si no se quiere una calidad alta, que en este caso no es necesario. Las formas de los sistemas cristalinos de madera o plástico es posible que todavía se puedan encontrar en algún centro de enseñanza. También se pueden construir con cartulina y existen todavía en el mercado algunas publicaciones destinadas a este fin.

El polariscopio

Es un equipo muy sencillo que nos permite estudiar los fenómenos básicos que se observan en el microscopio petrográfico pero sin el sistema óptico de aumento (objetivo y ocular). En nuestro caso tratándose de muestras de un tamaño relativamente grande no es necesario el sistema óptico. El polariscopio se compone de dos filtros polarizadores y una fuente de luz. En la Figura 10 vemos la imagen del polariscopio. El equipo es tan sencillo que se puede construir con facilidad: necesitamos dos filtros polarizadores como los que se utilizan en fotografía, y se montan en un soporte dejando un espacio de unos 10 cm entre ambos. Por la parte inferior se ilumina con una bombilla de bajo voltaje y ya tenemos construido el polariscopio. Los dos filtros polarizadores deben estar situados de modo que sus planos de polarización estén colocados a 90° uno respecto al otro. En estas condiciones, mirando por encima del aparato y estando la luz encendida, vemos oscuridad completa. Este equipo nos permite poner de manifiesto los fenómenos ópticos de los cristales.



Fig. 10. Vista general del polariscopio.

La luz polarizada es aquella que vibra en un solo plano, mientras que la luz ordinaria vibra en todos los planos posibles y perpendicularmente a la dirección de propagación. En el microscopio petrográfico se trabaja habitualmente con luz polarizada ya que la mayoría de los cristales polarizan la luz, excepto un pequeño grupo que son los minerales del sistema cúbico (ejemplos: diamante / fluorita / espinela / granate, etc.) y los materiales amorfos como por ejemplo el vidrio. Para poner de manifiesto la polarización de la luz en los cristales, tomamos un romboedro de exfoliación de calcita transparente, que comúnmente se conoce con el nombre de espato de Islandia. Debemos procurar que el grosor de dicho romboedro sea de unos 2 cm. Colocamos

el cristal encima de una cartulina negra con un agujero realizado con un alfiler grueso, y que está iluminada por su parte inferior con un foco de luz. Mirando por la parte opuesta veremos la doble imagen, o sea dos agujeros. Si ahora observamos esta doble imagen con un polarizador, veremos que los dos puntos se extinguen alternativamente cada 90°, lo cual pone de manifiesto que el doble haz de luz que sale del espato de Islandia está polarizado. Este fenómeno básico es el causante de todas las propiedades ópticas de los cristales.

La anisotropía anómala es un cambio en la posición de extinción que presentan los cristales del sistema cúbico y ciertos materiales amorfos que han estado sometidos a tensiones. Así, por ejemplo, el vidrio tensionado presenta este carácter al observarlo en el polariscopio. Se ven una serie de manchas negras que van oscilando conforme vamos haciendo una rotación con la muestra. Los materiales cristalinos ópticamente anisótropos presentan extinción entre polarizadores cruzados cada 90°, y en las posiciones intermedias presentan iluminación es el color de interferencia. El segundo fenómeno óptico es la observación del pleocroísmo, es decir del cambio de color de los minerales anisótropos coloreados. El fenómeno lo vemos con la ayuda de un solo polarizador, en este caso utilizamos también el polariscopio pero observando por el lateral del equipo y no a través de los dos polarizadores. En un giro de 360° los cristales anisótropos coloreados presentan una variación en su coloración, es el llamado pleocroísmo. Generalmente este cambio de color es solamente un cambio en la saturación, por ejemplo verde claro a verde oscuro.

CONCLUSIONES

Como resumen al desarrollo y explicación detallada de las actividades, destacamos aquellos aspectos importantes a tener en cuenta:

Esta práctica taller está pensada para realizarla básicamente con alumnos de bachillerato. No obstante algunos de sus aspectos pueden adaptarse a niveles educativos inferiores.

Las experiencias que se proponen en el taller introducen al alumno en el manejo y puesta a punto de equipos de observación y medición, aspecto este muy importante para cualquier estudiante que se especialice en el área de ciencias. También se les inculca el cuidado y limpieza de los equipos para obtener los mejores resultados en sus observaciones.

Aprenden a conocer distintas metodologías de trabajo, acordes con la problemática que puede presentarse en cada caso en función de la muestra objeto de estudio. Esto les introduce a la aplicación del conocimiento científico a la resolución de problemas prácticos.

El material para las prácticas así como los equipos que son necesarios para realizarlas son fáciles de encontrar en los centros de enseñanza, se pueden utilizar en distintas áreas de trabajo (por ejemplo seminarios de ciencias), y desde un punto de vista económico son perfectamente asequibles.

Los aspectos conceptuales que se derivan de la realización de estas experiencias en el laboratorio, contribuyen a relacionar la teoría con la práctica y estimulan al alumno a avanzar en los conocimientos teóricos, que a veces rechazan porque no le ven una aplicación práctica.

Algunas de las experiencias permiten establecer una comparación de los equipos sencillos con otros más sofisticados, pero cuyo fundamento es el mismo. Este es el caso del espectroscopio manual y el espectrofotómetro, o el polariscopio y el microscopio petrográfico.

El desarrollo de las prácticas con grupos reducidos de trabajo (2-3 alumnos por actividad) permite diseñar el taller con pocos equipos, ya que cada grupo necesita uno o dos equipos como máximo. Ello redundará en un ahorro de la infraestructura necesaria para organizar el taller. Al final de la experiencia, todos los alumnos habrán realizado por rotación las actividades planteadas.

Cada grupo de alumnos deberá anotar cuidadosamente sus observaciones y resultados para poderlos comparar con los obtenidos por sus compañeros. Al mismo tiempo se obliga al estudiante a tener que esforzarse en presentar un informe que sea comprensible.

BIBLIOGRAFÍA

Anderson, W. (1976). *Gemas. Descripción e identificación*. Editorial Entasa. Madrid.

Nassau, K. (1978). The origins of color in minerals. *American Mineralogist* 63, 219-229

Schumann, W. (1978). *Guía de las piedras preciosas y ornamentales*. Ediciones Omega. Barcelona

Webster, R. (1987). *Piedras preciosas*. Ediciones Omega. Barcelona. ■

Fecha de recepción del original: 20 febrero 2008.

Fecha de aceptación definitiva: 29 mayo 2008.